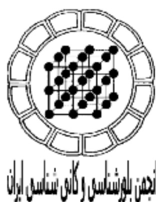
مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران

مقاله پژوهشی

سال سی و یکم، شمارهٔ سوم، پاییز ۱۴۰۲، از صفحهٔ ۴۶۷ تا ۴۷۸



بررسی سنگ‌نگاری، شیمی‌کانی و زمین دما فشارسنجی آمفیبولیت‌های معدن گل‌گهر سیرجان، استان کرمان

لیلی غفوری، سید حسام‌الدین معین‌زاده*

بخش زمین‌شناسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

(دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۸/۲۳، نسخه نهایی: ۱۴۰۱/۱۱/۱۵)

چکیده: معدن سنگ آهن گل‌گهر، در جنوب‌غربی شهرستان سیرجان، از دیدگاه ساختاری در پهنه ساختاری سنندج-سیرجان قرار دارد و بیشتر آن از سنگ‌های دگرگونه پالئوزوئیک تشکیل شده است. بالاترین درجه دگرگونی سنگ‌های منطقه مربوط به رخساره آمفیبولیت است. آمفیبولیت‌های منطقه آشکارا به دو نوع آمفیبولیت و بیوتیت آمفیبولیت تقسیم می‌شوند که شامل کانی‌های اصلی هورنبلند و پلاژیوکلاز همراه با کانی‌های فرعی بیوتیت، اسفن، کوارتز، تورمالین و کانی‌های کدر هستند. در بعضی از نمونه‌ها، بیوتیت نیز به عنوان کانی اصلی یافت شد. کانی‌های ثانویه کلریت، اپیدوت، کلسیت، اکسیدهای آهن و سریسیت به عنوان فازهای برآمده از دگرسانی و همچنین کلریتی و اپیدوتی شدن بیوتیت‌ها و آمفیبول‌ها به عنوان شواهدی از دگرگونی پسرونده در حد رخساره اپیدوت آمفیبولیت گسترش یافته‌اند. بافت آمفیبولیت‌های منطقه اغلب دانه شکفتی است. براساس داده‌های شیمی‌کانی آمفیبول، نمونه‌های مورد بررسی در دو گروه کلسیمی، با ترکیب مگنزیوهورنبلند و پاراگاسیت و سدیمی-کلسیمی با ترکیب وینچیت قرار می‌گیرند. باتوجه به نتایج دما-فشار سنجی، آمفیبول‌ها در شرایط گریزندگی اکسیژن بالا و در دمای ۶۰۰ تا ۷۵۰ درجه سانتیگراد و فشار تقریبی ۳ تا ۷ کیلوبار تشکیل شده‌اند.

واژه‌های کلیدی: *سنندج-سیرجان؛ گل‌گهر؛ آمفیبولیت؛ شیمی‌کانی؛ دما-فشار سنجی.*

مقدمه

پهنه دگرگونی سنندج-سیرجان به طول تقریبی ۱۲۰۰ کیلومتر و پهنای متوسط بیش از ۳۰ کیلومتر گسترش دارد که انواع رخساره‌های دگرگونی و سنگ‌های دگرگونی در آن دیده می‌شوند. در بخش‌های جنوبی، میگماتیت‌ها، گنیس‌ها، میکاشیست‌ها، آمفیبولیت‌ها و مرمرهای فراوانی به سن پرکامبرین و ژوراسیک پایانی وجود دارند [۱]. ناحیه گل‌گهر در جنوب غربی شهرستان سیرجان به دلیل قرارگیری در پهنه ساختاری سنندج-سیرجان دستخوش دگرگونی‌های بسیاری شده است و رخنمون‌هایی از انواع سنگ‌های دگرگون شده در این منطقه دیده می‌شود. آمفیبولیت نوعی سنگ دگرگونی دانه متوسط تا دانه درشت، شامل هورنبلند و پلاژیوکلاز، به رنگ های سبز روشن تا تیره و سیاه است که اغلب در اثر دگرگونی ناحیه‌ای متوسط تا شدید سنگ‌های آذرین بازی، حدواسط و یا سنگ‌های آهکی ناخالص به وجود می‌آید [۲]. از آنجا که تا کنون پژوهشی پیرامون آمفیبولیت‌های معدن گل گهر سیرجان انجام شده است، بررسی آن‌ها از نظر کانی‌شناسی و شرایط دما و فشار تشکیل، می‌تواند گام موثری در روشن ساختن رخدادهای زمین‌شناسی در منطقه باشد.

زمین‌شناسی عمومی و صحرایی

منطقه معدنی مورد بررسی با وسعت بیش از ۱/۵ کیلومتر مربع در مجموعه گل‌گهر با مختصات جغرافیایی ″۵۵°۱۹'۲۳ تا ″۱۸°۵۵'۳۳ طول شرقی و ″۲۹°۰۵'۳۲ تا ″۲۹°۰۵'۰/۰۵ عرض شمالی در لبه جنوب‌شرقی پهنه سنندج -سیرجان واقع

*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۳۱۴۱۴۱۰۳، نمابر: ۰۳۴۳۳۲۵۷۴۳۵، پست الکترونیکی: hmoeinzadeh@uk.ac.ir

[DOR: 20.1001.1.17263689.1402.31.3.4.9]
[DOI: 10.61186/ijcm.31.3.467]

است (شکل ۱). منطقه گل‌گهر و مناطق پیرامون آن از سنگ‌های دگرگونی پرکامبرین، پالئوزوئیک، سنگ‌های رسوبی مزوزوئیک، سنوزوئیک و آبرفت‌های کواترنر تشکیل شده است. توده‌های بازیک و گرانیتی تریاس پسین در مجموعه دگرگونی پالئوزوئیک و تریاس میانی نفوذ کرده‌اند. این مجموعه دگرگونی شامل تناوبی از گنیس، میکاشیست، آمفیبولیت، کوارتزشیست در بخش پایینی و گنیس و کوارتزشیست در بخش بالایی است. سنگ‌های کنگلومرا، آهک ریفی، ماسه‌سنگ آهکی، شیل و توربیدایت (سنگ‌های رسوبی مزوزوئیک) و پادگانه‌ها، مخروط-افکنه‌های قدیم و جدید (آبرفت‌های کواترنری) منطقه مورد بررسی را پوشانده‌اند [۳].

آمفیبولیت‌ها به‌صورت لایه‌هایی کنار شیست‌ها و سنگ‌های متابازیت و همچنین نهشته‌های معدنی تشکیل شده و در اثر نیروهای زمین‌ساختی فعال در طول پهنه برشی در منطقه به صورت چین خورده درآمده‌اند (شکل ۲ الف). وجود گسل‌های فراوان در منطقه نشان‌دهنده پویایی منطقه و عملکرد نیروهای زمین‌ساختی در منطقه است. درز و گسل‌های موجود موجب تسهیل نفوذ سیال‌ها و در نتیجه به وجود آمدن دگرسانی‌هایی چون اکسیدهای آهن (شکل ۲ ب) و رگه‌های کلریتی (شکل ۲ پ) در سنگ‌های منطقه شده است.

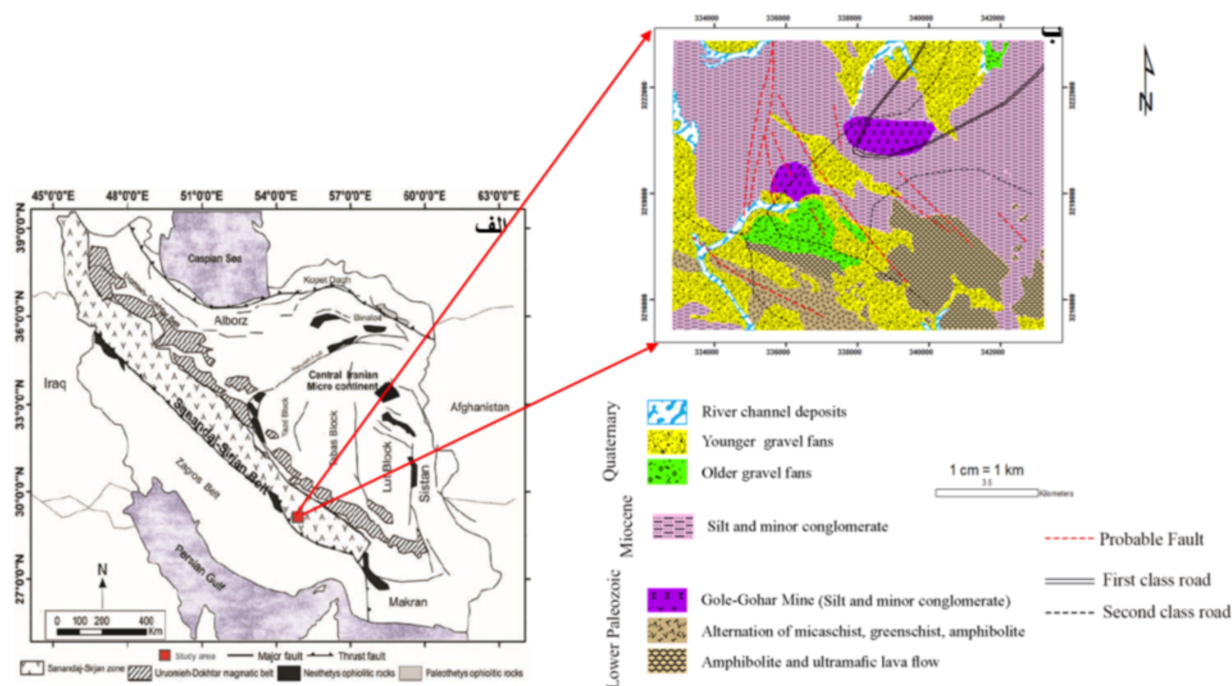
روش بررسی

طی بررسی‌های صحرایی، تعداد ۵۰ نمونه از آمفیبولیت‌های منطقه برداشت و بررسی سنگ‌نگاری شدند. قرار گرفت و برای تعیین ترکیب شیمیایی کانی‌های مورد نظر تعدادی از آن‌ها برای تجزیه‌ی نقطه‌ای با ریزپردازشگر الکترونی JEOL-JX8600M با ولتاژ شتاب‌دهنده ۱۵ کیلوولت و جریان تابشی 2×10^{-8} A به بخش علوم‌زمین و محیط زیست دانشگاه یاماگاتای ژاپن ارسال شدند.

بحث و بررسی

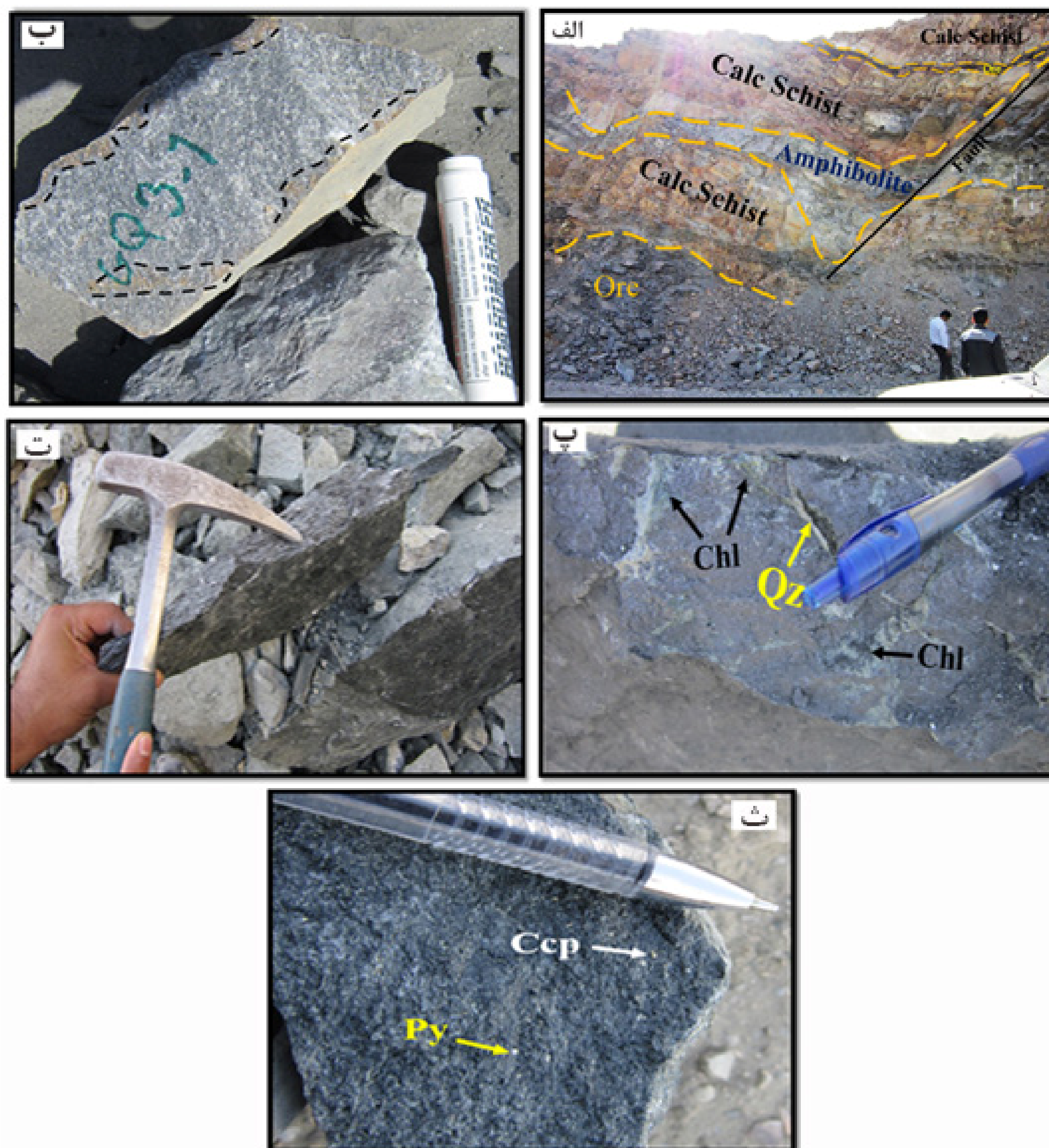
سنگ‌نگاری

آمفیبولیت‌های منطقه در نمونه‌دستی به رنگ سبزتیره هستند که در بخش‌هایی از منطقه در اثر جدایش دگرگونی کانی‌های تیره آمفیبول و روشن پلاژیوکلاز از هم تفکیک شده‌اند و در نمونه‌دستی دیده می‌شوند (شکل ۲ ت). در برخی از نمونه‌های آمفیبولیتی، کانی‌های پیریت و کالکوپیریت نمایان هستند (شکل ۲ ث). آمفیبولیت‌های مشاهده شده از نوع اورتوآمفیبولیت می‌باشند و کانی کوارتز در آن‌ها نیست یا به ندرت وجود دارد و انواع اصلی آنها شامل آمفیبولیت و بیوتیت آمفیبولیت هستند.



شکل۱ الف) موقعیت منطقه مورد بررسی در نقشه زمین‌شناسی ایران. ب) نقشه ساده شده زمین‌شناسی منطقه، برگرفته از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ گل‌گهر، [۴].

[DOR: 20.1001.1.17263689.1402.31.3.4.9]
[DOI: 10.61186/ijcm.31.3.467]



شکل۲ الف) قرارگیری لایه آمفیبولیت در بین لایه‌های شیست و ماده معدنی در منطقه (دید به سمت جنوب)، ب) آثار اکسید آهن در سنگ‌های آمفیبولیتی منطقه، پ) آثار دگرسانی کلریتی (Chl) همراه با رگه کوارتزی (Qz) در نمونه آمفیبولیتی. ت) نمایی از کانی‌های تیره آمفیبول و روشن پلاژیوکلاز در نمونه دستی از سنگ‌های آمفیبولیتی منطقه، ث) بلورهای پیریت (Py) و کالکوپیریت (Ccp) در نمونه دستی آمفیبولیت.

آمفیبولیت

در آمفیبولیت‌های منطقه، شکفته بلورهای آمفیبول به‌صورت تیغه‌ای و منشوری نیمه‌شکل‌دار تا شکل‌دار به رنگ سبز-قهوه-ای در زمینه‌ای از پلاژیوکلاز، در هم قفل شده و بافت دانه شکفتی و ورقه شکفتی ایجاد کرده‌اند (شکل‌های ۳ الف و ب). کانی هورنبلند ۶۰-۵۵ درصد حجمی مقاطع میکروسکپی را تشکیل داده و در کل، نیمه‌شکل‌دار تا بی‌شکل، بدون ماکل، بدون منطقه‌بندی، با چندرنگی سبز-قهوه‌ای و سبز-آبی و با دو راستای رخ غیرعمود است و در بعضی مقاطع، یک راستای دیده می‌شود. حدود ۳۵-۳۰ درصد حجمی مقاطع آمفیبولیتی را پلاژیوکلازها شامل می‌شوند که اغلب بدون شکل و گاهی نیمه شکل‌دار و بدون منطقه‌بندی هستند. کانی‌های فرعی در آمفیبولیت‌های بررسی شده شامل بیوتیت، اسفن، کوارتز، تورمالین و کانی‌های کدر هستند که در کل، حدود ۵ درصد حجمی مقاطع را تشکیل می‌دهند.

[DOR: 20.1001.1.17263689.1402.31.3.4.9]
[DOI: 10.61186/ijcm.31.3.467]

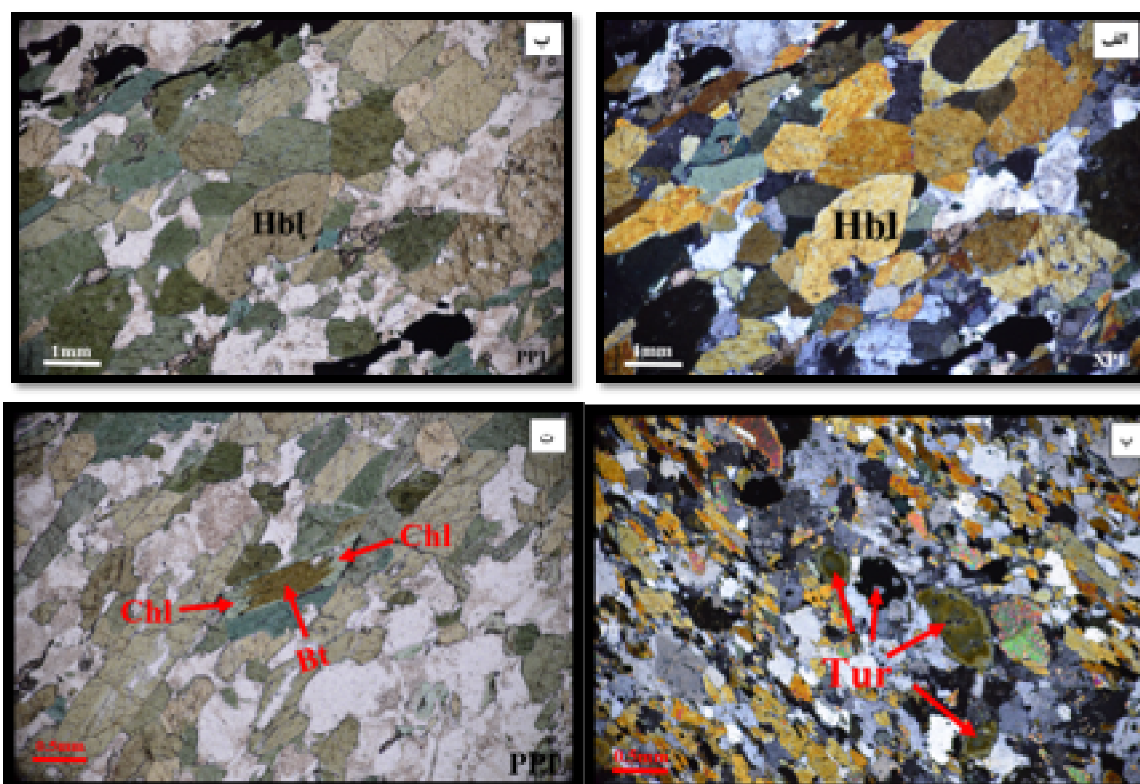
بیوتیت‌آمفیبولیت

این سنگ‌ها نسبت به سایر آمفیبولیت‌ها بیشترین برونزد را در منطقه داشته و اغلب بافت دانه‌شکفتی دارند. افزون بر این بافت، آشکارا آرایش موازی و بافت ورقه شکفتی نیز نشان می‌دهند. بیوتیت‌آمفیبولیت دربردارنده ۵۰-۴۵ درصد هورنبلند با اندازه ۰/۱ تا بیش از ۲ میلی‌متر، ۳۵-۳۰ درصد پلاژیوکلاز در اندازه ۰/۲ تا ۲ میلی‌متر، ۱۰ درصد بیوتیت با اندازه ۰/۰۵ تا ۲ میلی‌متر و ۵ درصد کانی‌های فرعی و ثانویه شامل تورمالین، اسفن، اپیدوت، کلریت، سریسیت، کلسیت و کانی‌های کدر است. تورمالین‌ها در بعضی مقاطع منطقه بندی نشان می‌دهند و با توجه به بررسی‌های پیشین [۵]، از نوع دراویت و غیرماگمایی هستند (شکل ۳ پ). بیوتیت‌ها اغلب در راستای برگوارگی به کلریت تبدیل شده‌اند (شکل ۳ت) و با توجه به بررسی‌های غفوری [۶] از نوع منیزیم‌دار هستند. در بعضی مقاطع، بیوتیت آمفیبولیت‌ها در اثر دگرسانی شدید به اپیدوت و کلریت تبدیل شده و اپیدوت آمفیبولیت تشکیل داده‌اند که این روابط واکنشی از شواهد دگرگونی پسرونده در حد رخساره اپیدوت آمفیبولیت در منطقه هستند.

شیمی‌کانی آمفیبول

براساس سنگ‌شناسی سنگ‌های دگرگونی مافیک، آمفیبول یک کانی شاخص به‌حساب می‌آید. کانی‌های گروه آمفیبول با فرمول کلی $AB_2C_5T_8O_{22}W_2$ معرفی شده‌اند [۷] که جایگاه A با Na, K, Ca, Pb, Li، جایگاه B با Na, Ca, Mn^{+2}, $Mg, Fe^{2+}, Mn, Al, Fe^{+3}$, جایگاه C با Fe^{+3}, Mg, Li ، Mn^{+2}, Cr, Ti^{+4}, Li، جایگاه T با Si, Al, Ti^{+4}, Be و جایگاه w نیز با $W= OH, F, Cl, O^{+2}$ اشغال می شوند. عناصر فرعی چون Zr، Zn، Ni^{+2}، Co^{+2}، V^{+3} و Sc نیز احتمال حضور در جایگاه C به‌صورت کاتیون را دارند.

بر پایه پارامتر $(Ca+Na)^B$، آمفیبول‌ها در سه گروه جای می‌گیرند [۷]: ۱) آمفیبول کلسیمی با $^BCa/^B(Ca+Na)\geq0.75$، ۲) آمفیبول سدیمی-کلسیمی با $0.75>Ca/^B(Ca+Na)>0.25$، ۳) آمفیبول سدیمی با $0.25\geq {}^BCa/^B(Ca+Na)$ بر این اساس، آمفیبول نمونه‌های مورد بررسی در منطقه گل‌گهر در دو گروه کلسیمی و سدیمی-کلسیمی قرار دارند (جدول‌های ۱ و ۲).



شکل۳ الف و ب) بلورهای درهم قفل‌شده آمفیبول در آمفیبولیت‌های منطقه، به ترتیب در نور قطبیده متقاطع (xpl) و نور قطبیده صفحه‌ای (ppl). پ) تورمالین‌های دارای منطقه بندی در بیوتیت آمفیبولیت‌ها. ت) بیوتیت کلریتی شده در بیوتیت‌آمفیبولیت‌ها.

جدول۱ نتایج تجزیه نقطه‌ای آمفیبول‌های کلسیمی موجود در آمفیبولیت معدن گل‌گهر.

نمونه	SiO_2(wt.%)	TiO_2	Al_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	مجموع
۱-۱۰-۲GQ	۴۵/۵۹	۰/۸۰	۱۰/۸۷	۱۷/۵۶	۰/۱۸	۱۰/۰۰	۱۰/۲۰	۲/۳۰	۰/۷۰	۹۸/۲
۱-۱۰-۲GQ	۴۵/۸۴	۰/۸۷	۱۰/۴۶	۱۸/۴۰	۰/۱۰	۱۰/۳۰	۱۰/۸۲	۲/۱۶	۰/۷۲	۹۹/۱٦،۸۹۶۷
۱-۱۰-۲GQ	۴۵/۵۲	۰/۵۸	۱۱/۱۳	۱۶/۲۹	۰/۱۹	۱۰/۱۷	۱۱/۲۶	۲/۱۲	۰/۵۸	۹۷/۸۴
۲-۱۰-۲GQ	۴۶/۲۴	۰/۷۶	۱۰/۸۱	۱۸/۳۴	۰/۱۵	۱۰/۷۰	۱۰/۰۳	۲/۱۰	۰/۵۹	10.81
۲-۱۰-۲GQ	۴۵/۶۱	۰/۷۳	۱۱/۲۳	۱۸/۲۳	۰/۰۹	۱۰/۳۰	۱۰/۶۳	۲/۱۵	۰/۷۲	9.52
۲-۱۰-۲GQ	۴۴/۵۸	۰/۷۱	۱۲/۲۶	۱۸/۵۷	۰/۲۱	۹/۸۹	۹/۶۶	۲/۳۱	۰/۶۹	۹۸/۸۸
۱-۱۳-۳GQ	۴۷/۲۵	۰/۶۳	۱۱/۱۳	۱۷/۳۹	۰/۲۳	۱۰/۰۹	۱۰/۱۹	۲/۵۱	۰/۴۸	18.31
۱-۱۳-۳GQ	۴۷/۶۵	۰/۵۵	۱۰/۵۸	۱۷/۲۸	۰/۱۴	۱۰/۳۱	۱۰/۲۰	۲/۱۰	۰/۴۲	۹۹/۲۳
۱-۱۳-۳GQ	۴۷/۰۶	۰/۶۵	۱۰/۴۰	۱۷/۸۱	۰/۱۷	۱۰/۱۳	۱۰/۳۴	۲/۳۵	۰/۴۵	17.09
۱-۱۳-۳GQ	۴۶/۹۱	۰/۵۳	۱۰/۵۹	۱۷/۹۴	۰/۲۲	۱۱/۰۷	۹/۱۸	۲/۱۹	۰/۴۵	۹۹/۰۸
۱-۱۳-۳GQ	۴۶/۸۹	۰/۶۰	۱۰/۲۹	۱۶/۲۴	۰/۱۶	۱۰/۹۷	۱۰/۲۱	۲/۱۷	۰/۴۹	۹۸/۰۲
۳-۱۳-۳GQ	۴۷/۲۹	۰/۷۰	۱۰/۴۳	۱۷/۶۶	۰/۲۵	۱۰/۰۴	۱۰/۳۲	۲/۲۳	۰/۴۷	۹۹/۳۹
-۳-۱۳-۳GQ	۴۶/۸۵	۰/۵۲	۱۰/۶۴	۱۷/۴۳	۰/۱۶	۱۰/۲۳	۱۰/۵۹	۲/۳۰	۰/۴۲	33.98
-۳-۱۳-۳GQ	۴۷/۲۳	۰/۴۶	۱۰/۹۷	۱۶/۶۵	۰/۱۸	۱۰/۸۹	۱۰/۶۹	۱/۹۹	۰/۴۶	۹۹/۵۲
۳-۱۳-۳GQ	۴۷/۰۶	۰/۵۱	۱۰/۵۶	۱۶/۰۹	۰/۲۴	۱۱/۲۵	۱۰/۶۶	۲/۲۴	۰/۴۹	11.16
۳-۱۳-۳GQ	۴۶/۲۳	۰/۳۸	۱۰/۳۰	۱۸/۰۵	۰/۱۲	۱۰/۶۹	۱۰/۵۹	۲/۱۴	۰/۵۳	7.58
۶-۱۳-۳GQ	۴۶/۳۰	۰/۵۸	۱۰/۳۷	۱۷/۴۹	۰/۲۱	۱۱/۱۵	۱۰/۳۱	۲/۴۸	۰/۴۳	۹۹/۳۲
۱۳۲-۳GQ	۴۷/۱۸	۰/۶۴	۱۰/۴۷	۱۷/۲۳	۰/۲۵	۱۰/۳۹	۱۰/۳۳	۲/۲۳	۰/۴۵	-106.86
۱۳-۳GQ	۴۵/۱۰	۰/۵۵	۱۲/۰۰	۱۷/۱۲	۰/۱۲	۹/۸۵	۱۰/۶۹	۲/۵۲	۰/۵۴	۹۸/۴۹
۱۲-۴GQ	۴۴/۱۵	۰/۴۰	۱۳/۴۶	۱۶/۰۱	۰/۰۷	۹/۷۱	۹/۵۴	۳/۴۰	۰/۳۰	۹۷/۰۴
۵-۱-۵GQ	۴۴/۵۶	۰/۸۱	۱۰/۷۴	۱۹/۲۰	۰/۲۵	۹/۲۵	۱۰/۳۰	۲/۴۳	۰/۷۸	۹۸/۳۲
۶-۱-۵GQ	۴۴/۸۰	۰/۴۸	۱۱/۹۰	۱۷/۵۷	۰/۱۷	۹/۹۰	۱۰/۸۸	۲/۳۱	۰/۷۰	۹۸/۷۱
۷-۱-۵GQ	۴۶/۰۵	۰/۶۳	۱۱/۲۰	۱۷/۸۸	۰/۲۲	۱۰/۴۲	۱۰/۶۳	۲/۱۰	۰/۵۹	۹۹/۷۲
۱۴-۲GQ	۴۴/۶۴	۰/۸۴	۱۱/۴۸	۱۸/۷۷	۰/۳۲	۹/۵۹	۱۰/۲۷	۲/۲۲	۰/۷۸	۹۸/۹۱
۱۵-۲GQ	۴۵/۳۴	۰/۶۹	۱۱/۰۱	۱۷/۸۲	۰/۱۵	۱۰/۰۹	۱۰/۸۳	۱/۹۹	۰/۷۶	۹۸/۶۸
۱۶-۲GQ	۴۵/۵۶	۰/۶۲	۱۱/۴۸	۱۷/۶۰	۰/۱۶	۱۰/۳۰	۱۰/۱۳	۲/۰۳	۰/۴۵	-1.06
۱-۱-۶GQ	۴۴/۴۹	۰/۸۵	۱۱/۴۴	۱۹/۸۵	۰/۳۱	۸/۷۹	۱۰/۳۹	۱/۸۸	۰/۹۸	۹۸/۹۸
۱-۱-۶GQ	۴۴/۳۴	۰/۵۴	۱۱/۳۶	۲۰/۴۸	۰/۳۸	۸/۷۳	۱۰/۵۲	۲/۳۰	۰/۹۶	33.77
۱-۱-۶GQ	۴۵/۳۰	۰/۷۳	۱۱/۰۰	۱۸/۸۲	۰/۳۷	۹/۲۶	۱۰/۴۳	۲/۳۱	۰/۹۲	25.91
۱-۱-۶GQ	۴۴/۰۵	۰/۷۰	۱۲/۰۹	۲۰/۵۱	۰/۴۵	۸/۲۴	۱۰/۶۳	۲/۰۷	۰/۹۸	14.21
۲-۱-۶GQ	۴۳/۶۲	۰/۹۷	۱۱/۶۳	۲۰/۵۰	۰/۴۰	۸/۹۸	۱۰/۶۱	۲/۱۰	۰/۹۶	30.02
۲-۱-۶GQ	۴۳/۹۳	۰/۹۴	۹/۹۵	۲۰/۲۰	۰/۴۱	۸/۳۸	۱۰/۴۷	۲/۳۰	۰/۹۷	۹۷/۵۵
۲-۱-۶GQ	۴۳/۲۳	۰/۹۱	۱۰/۴۱	۱۹/۷۴	۰/۳۸	۹/۲۰	۱۰/۳۷	۲/۵۰	۰/۹۲	36.45
-۲-۱-۶GQ	۴۶/۰۳	۰/۸۰	۱۰/۲۸	۱۹/۱۹	۰/۲۹	۹/۳۱	۱۰/۸۷	۱/۷۹	۰/۸۲	95.01
۱-۴-۷GQ	۴۶/۱۵	۰/۸۳	۱۱/۰۰	۱۷/۳۱	۰/۳۳	۱۰/۶۵	۱۰/۶۴	۲/۰۴	۰/۶۱	۹۹/۵۶
-۱-۴-۷GQ	۴۶/۱۰	۰/۷۱	۱۱/۰۲	۱۷/۳۰	۰/۳۲	۱۰/۶۲	۱۰/۸۱	۱/۹۰	۰/۶۵	۹۹/۴۳
-۱-۴-۷GQ	۴۵/۶۹	۰/۷۵	۱۰/۹۷	۱۷/۸۵	۰/۳۹	۱۰/۵۶	۱۰/۷۹	۲/۰۶	۰/۵۹	۹۹/۶۵
-۱-۴-۷GQ	۴۶/۵۴	۰/۷۵	۱۰/۴۷	۱۷/۲۵	۰/۳۹	۱۰/۹۳	۱۰/۴۷	۲/۰۰	۰/۶۰	21.34
۳-۴-۷GQ	۴۵/۰۳	۰/۹۴	۱۱/۲۸	۱۷/۷۳	۰/۳۳	۱۰/۳۵	۱۰/۷۶	۱/۹۰	۰/۷۰	۹۹/۰۲
۳-۴-۷GQ	۴۶/۳۶	۰/۷۴	۱۱/۰۷	۱۷/۳۵	۰/۳۴	۱۰/۸۱	۱۰/۶۴	۱/۹۵	۰/۶۸	۹۹/۹۴
-۲-۵-۷GQ	۴۵/۹۹	۰/۸۴	۱۱/۳۳	۱۷/۴۳	۰/۲۰	۱۰/۳۶	۱۰/۹۶	۱/۹۹	۰/۷۷	119.93
-۲-۵-۷GQ	۴۵/۵۹	۰/۷۴	۱۰/۰۱	۱۷/۶۶	۰/۲۳	۱۰/۹۴	۱۰/۸۸	۱/۸۴	۰/۶۶	107.49
-۲-۵-۷GQ	۴۵/۱۳	۰/۴۱	۱۱/۱۸	۱۸/۳۳	۰/۱۹	۱۰/۰۳	۱۱/۴۵	۱/۹۱	۰/۵۲	99.15
۲-۵-۷GQ	۴۹/۵۴	۰/۳۴	۵/۸۳	۱۷/۶۱	۰/۳۷	۱۱/۶۷	۱۱/۰۸	۱/۳۳	۰/۳۹	54.11
۲-۵-۷GQ	۴۸/۰۳	۰/۶۰	۱۰/۱۳	۱۶/۸۰	۰/۲۶	۱۱/۴۴	۱۰/۸۰	۱/۳۴	۰/۴۴	45.36
۲-۵-۷GQ	۴۵/۷۷	۰/۹۴	۱۱/۲۲	۱۷/۳۴	۰/۳۳	۱۰/۷۲	۱۰/۶۷	۲/۰۶	۰/۷۲	15.61
۲-۵-۷GQ	۴۶/۶۰	۰/۸۴	۱۰/۶۴	۱۵/۷۷	۰/۳۰	۱۱/۳۴	۱۰/۵۸	۱/۸۹	۰/۶۵	۹۸/۶۱
۲-۵-۷GQ	۴۶/۶۵	۰/۸۱	۱۰/۰۲	۱۷/۱۹	۰/۳۳	۱۱/۰۱	۱۰/۸۶	۲/۱۵	۰/۶۹	11.92
-۱۱-۸GQ	۵۰/۰۹	۰/۳۸	۱۰/۳۶	۸/۴۷	۰/۱۲	۱۶/۰۲	۱۱/۳۴	۱/۸۳	۰/۳۵	۹۸/۹۶
-۱۱-۸GQ	۵۰/۳۰	۰/۴۰	۹/۷۹	۷/۸۱	۰/۲۱	۱۵/۷۰	۱۱/۸۷	۱/۶۴	۰/۳۶	۹۸/۰۸
۱۱-۸GQ	۵۰/۰۹	۰/۴۱	۱۰/۱۲	۸/۹۲	۰/۱۷	۱۵/۶۸	۱۲/۰۰	۱/۷۲	۰/۳۹	۹۹/۵
-۱۱-۸GQ	۵۰/۱۸	۰/۴۱	۱۰/۳۷	۹/۰۱	۰/۱۶	۱۵/۳۹	۱۱/۲۳	۱/۷۴	۰/۳۸	82.86

[DOR: 20.1001.1.17263689.1402.31.3.4.9]
[DOI: 10.61186/ijcm.31.3.467]

ادامه جدول ۱ محاسبه کاتیون بر اساس ۲۳ اکسیژن.

نمونه	Si(apfu)	Ti	Al	Fe	Mn	Mg	Ca	Na	K
۱-۱۰-۲GQ	۶/۵۶	۰/۰۹	۱/۸۸	۲/۲۰	۰/۰۲	۲/۲۴	۱/۶۹	۰/۶۴	۰/۱۴
۱-۱۰-۲GQ	۶/۵۶	۰/۰۹	۱/۹۳	۲/۲۰	۰/۰۱	۲/۲۰	۱/۶۶	۰/۶۰	۰/۱۳
۱-۱۰-۲GQ	۶/۷۲	۰/۰۶	۱/۹۴	۲/۰۱	۰/۰۲	۲/۲۴	۱/۷۸	۰/۶۱	۰/۱۱
۲-۱۰-۲GQ	۶/۶۱	۰/۰۸	۱/۸۲	۲/۱۹	۰/۰۲	۲/۲۸	۱/۶۹	۰/۵۸	۰/۱۱
۲-۱۰-۲GQ	۶/۵۲	۰/۰۸	۱/۸۹	۲/۳۰	۰/۰۱	۲/۲۰	۱/۶۳	۰/۶۰	۰/۱۳
۲-۱۰-۲GQ	۶/۴۴	۰/۰۸	۲/۰۹	۲/۲۴	۰/۰۳	۲/۱۳	۱/۴۹	۰/۶۵	۰/۱۳
۱-۱۳-۳GQ	۶/۶۷	۰/۰۷	۱/۸۵	۲/۰۵	۰/۰۳	۲/۳۳	۱/۵۴	۰/۶۹	۰/۰۹
۱-۱۳-۳GQ	۶/۷۶	۰/۰۶	۱/۷۳	۲/۰۴	۰/۰۲	۲/۳۹	۱/۵۷	۰/۵۷	۰/۰۷
۱-۱۳-۳GQ	۶/۷۱	۰/۰۷	۱/۷۵	۲/۱۲	۰/۰۲	۲/۳۳	۱/۵۸	۰/۶۵	۰/۰۸
۱-۱۳-۳GQ	۶/۶۷	۰/۰۶	۱/۷۷	۲/۱۳	۰/۰۳	۲/۳۴	۱/۴۰	۰/۶۰	۰/۰۸
۱-۱۳-۳GQ	۶/۸۱	۰/۰۷	۱/۷۶	۱/۹۷	۰/۰۲	۲/۳۷	۱/۵۹	۰/۶۱	۰/۰۹
۳-۱۳-۳GQ	۶/۶۶	۰/۰۷	۱/۸۳	۲/۰۸	۰/۰۳	۲/۳۲	۱/۵۶	۰/۶۷	۰/۰۸
-۳-۱۳-۳GQ	۶/۶۷	۰/۰۶	۱/۷۸	۲/۰۹	۰/۰۲	۲/۳۸	۱/۶۱	۰/۶۳	۰/۰۸
-۳-۱۳-۳GQ	۶/۷۶	۰/۰۵	۱/۸۵	۱/۹۹	۰/۰۲	۲/۳۲	۱/۶۴	۰/۵۵	۰/۰۸
۳-۱۳-۳GQ	۶/۸۴	۰/۰۵	۱/۷۷	۱/۹۲	۰/۰۳	۲/۳۹	۱/۶۳	۰/۶۲	۰/۰۹
۳-۱۳-۳GQ	۶/۶۱	۰/۰۴	۱/۹۰	۲/۱۶	۰/۰۱	۲/۲۸	۱/۶۲	۰/۵۹	۰/۱۰
۶-۱۳-۳GQ	۶/۶۶	۰/۰۶	۱/۷۶	۲/۱۰	۰/۰۳	۲/۳۹	۱/۵۹	۰/۶۹	۰/۰۸
۱۳۲-۳GQ	۶/۷۶	۰/۰۷	۱/۷۳	۲/۰۲	۰/۰۳	۲/۳۸	۱/۵۵	۰/۶۱	۰/۰۸
۱۳-۳GQ	۶/۶۰	۰/۰۶	۲/۰۷	۲/۱۰	۰/۰۱	۲/۱۵	۱/۶۸	۰/۷۲	۰/۱۰
۱۲-۴GQ	۶/۵۰	۰/۰۴	۲/۳۴	۱/۹۷	۰/۰۱	۲/۱۳	۱/۵۱	۰/۹۷	۰/۰۶
۵-۱-۵GQ	۶/۵۹	۰/۰۹	۱/۸۷	۲/۳۸	۰/۰۳	۲/۰۴	۱/۶۳	۰/۷۰	۰/۱۵
۶-۱-۵GQ	۶/۵۶	۰/۰۵	۲/۰۵	۲/۱۵	۰/۰۲	۲/۱۶	۱/۷۱	۰/۶۶	۰/۱۳
۷-۱-۵GQ	۶/۶۲	۰/۰۷	۱/۹۰	۲/۱۵	۰/۰۳	۲/۲۳	۱/۶۴	۰/۵۹	۰/۱۱
۱۴-۲GQ	۶/۵۲	۰/۰۹	۱/۹۸	۲/۲۹	۰/۰۴	۲/۰۹	۱/۶۱	۰/۶۳	۰/۱۴
۱۵-۲GQ	۶/۶۳	۰/۰۸	۱/۹۰	۲/۱۸	۰/۰۲	۲/۲۰	۱/۷۰	۰/۵۶	۰/۱۴
۱۶-۲GQ	۶/۵۴	۰/۰۷	۱/۹۴	۲/۲۳	۰/۰۲	۲/۲۰	۱/۶۷	۰/۵۶	۰/۱۴
۱-۱-۶GQ	۶/۵۳	۰/۰۹	۱/۹۸	۲/۴۴	۰/۰۴	۱/۹۲	۱/۶۳	۰/۵۳	۰/۱۸
۱-۱-۶GQ	۶/۵۳	۰/۱۰	۱/۹۳	۲/۴۷	۰/۰۵	۱/۹۳	۱/۶۲	۰/۶۴	۰/۱۸
۱-۱-۶GQ	۶/۵۷	۰/۰۹	۱/۸۸	۲/۴۰	۰/۰۴	۲/۰۰	۱/۶۶	۰/۶۵	۰/۱۷
۱-۱-۶GQ	۶/۴۶	۰/۰۸	۲/۰۹	۲/۵۲	۰/۰۶	۱/۸۰	۱/۷۳	۰/۵۹	۰/۲۱
۲-۱-۶GQ	۶/۴۵	۰/۱۱	۱/۹۸	۲/۴۸	۰/۰۵	۱/۹۴	۱/۶۴	۰/۶۹	۰/۱۸
۲-۱-۶GQ	۶/۶۳	۰/۱۱	۱/۷۷	۲/۵۵	۰/۰۵	۱/۸۹	۱/۶۹	۰/۶۷	۰/۱۹
۲-۱-۶GQ	۶/۵۴	۰/۱۰	۱/۹۴	۲/۳۹	۰/۰۵	۱/۹۸	۱/۶۱	۰/۷۰	۰/۱۷
-۲-۱-۶GQ	۶/۶۴	۰/۰۹	۱/۹۲	۲/۳۲	۰/۰۴	۲/۰۰	۱/۶۸	۰/۵۰	۰/۱۵
۱-۴-۷GQ	۶/۶۴	۰/۰۹	۱/۸۷	۲/۰۸	۰/۰۴	۲/۲۸	۱/۶۴	۰/۵۷	۰/۱۱
-۱-۴-۷GQ	۶/۶۴	۰/۰۸	۱/۸۷	۲/۰۸	۰/۰۴	۲/۲۸	۱/۶۷	۰/۵۳	۰/۱۲
-۱-۴-۷GQ	۶/۵۹	۰/۰۸	۱/۸۶	۲/۱۵	۰/۰۵	۲/۲۷	۱/۶۷	۰/۵۸	۰/۱۱
-۱-۴-۷GQ	۶/۶۲	۰/۰۸	۱/۷۶	۲/۱۷	۰/۰۵	۲/۳۲	۱/۶۰	۰/۵۵	۰/۱۱
۳-۴-۷GQ	۶/۵۴	۰/۱۰	۱/۹۳	۲/۱۵	۰/۰۴	۲/۲۴	۱/۶۷	۰/۵۳	۰/۱۳
۳-۴-۷GQ	۶/۶۳	۰/۰۸	۱/۸۷	۲/۰۸	۰/۰۴	۲/۳۰	۱/۶۳	۰/۵۴	۰/۱۲
-۲-۵-۷GQ	۶/۵۷	۰/۰۹	۱/۹۱	۲/۲۰	۰/۰۲	۲/۲۱	۱/۶۸	۰/۵۵	۰/۱۴
-۲-۵-۷GQ	۶/۷۸	۰/۰۸	۱/۶۸	۲/۱۰	۰/۰۳	۲/۳۲	۱/۶۶	۰/۵۱	۰/۱۲
-۲-۵-۷GQ	۶/۷۳	۰/۰۴	۱/۸۸	۲/۱۹	۰/۰۲	۲/۱۴	۱/۷۵	۰/۵۳	۰/۰۹
۲-۵-۷GQ	۷/۳۵	۰/۰۴	۰/۹۸	۲/۱۰	۰/۰۴	۲/۴۸	۱/۶۹	۰/۳۷	۰/۰۷
۲-۵-۷GQ	۶/۷۵	۰/۰۶	۱/۷۸	۱/۹۷	۰/۰۳	۲/۴۰	۱/۶۳	۰/۵۱	۰/۰۸
۲-۵-۷GQ	۶/۵۸	۰/۱۰	۱/۹۰	۲/۰۸	۰/۰۴	۲/۳۰	۱/۷۱	۰/۵۷	۰/۱۳
۲-۵-۷GQ	۶/۷۲	۰/۰۹	۱/۸۱	۱/۹۰	۰/۰۴	۲/۴۴	۱/۶۳	۰/۵۳	۰/۱۲
۲-۵-۷GQ	۶/۶۴	۰/۰۹	۱/۸۵	۲/۰۵	۰/۰۴	۲/۳۴	۱/۶۶	۰/۵۹	۰/۱۲
-۱۱-۸GQ	۶/۹۵	۰/۰۴	۱/۷۰	۰/۹۸	۰/۰۱	۳/۳۱	۱/۶۹	۰/۴۹	۰/۰۶
-۱۱-۸GQ	۷/۰۹	۰/۰۴	۱/۶۳	۰/۹۲	۰/۰۳	۳/۳۰	۱/۷۹	۰/۴۵	۰/۰۶
۱۱-۸GQ	۶/۹۸	۰/۰۴	۱/۶۶	۱/۰۴	۰/۰۲	۳/۲۶	۱/۷۹	۰/۴۶	۰/۰۷
-۱۱-۸GQ	۶/۹۳	۰/۰۴	۱/۶۹	۱/۰۴	۰/۰۲	۳/۲۸	۱/۷۶	۰/۴۷	۰/۰۷

[DOR: 20.1001.1.17263689.1402.31.3.4.9]
[DOI: 10.61186/ijcm.31.3.467]

جدول ۲ نتایج تجزیه نقطه‌ای آمفیبول‌های سدیمی-کلسیمی موجود در آمفیبولیت معدن گل‌گهر و محاسبه کاتیون بر اساس ۲۳ اکسیژن

نمونه	۱۲-۴GQ	۱۳-۳GQ	۱۳-۳GQ	۱۱-۸GQ	۱۲-۴GQ	۱۲-۴GQ	۱۲-۴GQ	۱۲-۴GQ	۱۲-۴GQ
SiO_2(wt.%)	۴۴/۱۸	۴۰/۲۲	۳۹/۷۱	۴۰/۷۰	۴۵/۳۵	۴۴/۶۱	۴۳/۹۹	۴۴/۷۳	۴۴/۹۷
TiO_2	۰/۴۰	۱/۷۴	۱/۷۴	۱/۰۵	۰/۳۲	۰/۳۸	۰/۳۱	۰/۲۸	۰/۳۴
Al_2O_3	۱۴/۰۴	۱۵/۳۳	۱۵/۴۳	۱۶/۸۵	۱۲/۹۶	۱۳/۵۴	۱۳/۶۹	۱۳/۲۵	۱۲/۹۹
FeO	۱۷/۳۶	۱۶/۶۶	۱۶/۸۶	۹/۴۶	۱۷/۱۰	۱۶/۴۴	۱۶/۶۲	۱۶/۶۸	۱۶/۳۵
MnO	۰/۰۷	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۵	۰/۰۸	۰/۰۷	۰/۱۷	۰/۱۹	۰/۱۱
MgO	۹/۸۳	۱۳/۶۵	۱۳/۴۰	۱۸/۲۴	۱۰/۶۴	۱۰/۲۸	۱۰/۴۰	۱۰/۶۶	۱۰/۶۹
CaO	۹/۶۳	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۱۸	۹/۴۶	۹/۵۰	۹/۵۶	۹/۳۸	۹/۲۴
Na_2O	۳/۲۶	۰/۱۷	۰/۲۱	۰/۲۶	۳/۴۹	۳/۱۹	۳/۳۴	۳/۱۰	۳/۱۸
K_2O	۰/۳۲	۹/۰۲	۸/۹۸	۹/۲۷	۰/۳۰	۰/۲۸	۰/۳۴	۰/۳۷	۰/۲۴
مجموع	۹۹/۰۹	۹۶/۹۵	۹۶/۴۹	۹۶/۰۶	۹۹/۷	۹۸/۲۹	۹۸/۴۲	۹۸/۶۴	۹۸/۱۱
Si(apfu)	۶/۳۶	۵/۵۷	۵/۵۳	۵/۴۸	۶/۴۷	۶/۴۵	۶/۳۶	۶/۴۲	۶/۴۸
Ti	۰/۰۴	۰/۱۸	۰/۱۸	۰/۱۱	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۴
Al	۲/۳۸	۲/۵۰	۲/۵۳	۲/۶۸	۲/۱۸	۲/۳۱	۲/۳۳	۲/۲۴	۲/۲۱
Fe	۲/۰۹	۱/۹۳	۱/۹۶	۱/۰۷	۲/۰۴	۱/۹۹	۲/۰۱	۲/۰۰	۱/۹۷
Mn	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۱
Mg	۲/۱۱	۲/۸۲	۲/۷۸	۳/۶۶	۲/۲۶	۲/۲۱	۲/۲۴	۲/۲۸	۲/۲۹
Ca	۱/۴۹	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۳	۱/۴۵	۱/۴۷	۱/۴۸	۱/۴۴	۱/۴۳
Na	۰/۹۱	۰/۰۵	۰/۰۶	۰/۰۷	۰/۹۷	۰/۸۹	۰/۹۴	۰/۸۶	۰/۸۹
K	۰/۰۶	۱/۵۹	۱/۶۰	۱/۵۹	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۶	۰/۰۷	۰/۰۴

آمفیبول‌های کلسیمی

بلورهای آمفیبول کلسیمی دارای مشخصه $^{B}(Ca+\sum M^{2+})/\sum B\geq 0.75, ^{B}Ca/\sum B\geq B\sum M^{2+}/\sum B$ هستند [۷]. بیشتر آمفیبول‌های مورد بررسی در آمفیبولیت‌های معدن گل‌گهر از نوع کلسیمی و دارای ترکیب مگنزیوهورنبلند بوده و تعداد کمی در گستره پاراگاسیت واقع هستند. (شکل ۴ الف). در این بلورها، بخش عمده‌ای از جایگاه های T با سیلیسیم و جایگاه C در همه نمونه‌ها با منیزیم اشغال می‌شود. تمرکز بیشتر آلومینیم در جایگاه T و به‌صورت Al^{IV} است. اگرچه بیشتر سدیم در جایگاه A جای می‌گیرد، مقادیر سدیم و پتاسیم در جایگاه A بسیار پایین است. تغییر ترکیب بلورهای آمفیبول از مرکز به لبه به صورت پاراگاسیت، مگنزیوهورنبلند و ترمولیت دیده می‌شود. این تغییرات همراه با افزایش مقادیر Ca (۱/۳۹ درصد در مرکز تا ۱/۷۹ درصد در لبه)، Si (۶/۵۳ درصد در مرکز تا ۷/۰۸ درصد در لبه) و کاهش مقادیر Na (۰/۷۰ درصد در مرکز تا ۰/۵۰ درصد در لبه) و Al (۱/۹۳ درصد در مرکز تا ۰/۹۸ درصد در لبه) است (شکل ۴ ب). تغییر و افزایش پیشرونده مقدار سیلیسیم (۶/۵۳ درصد در مرکز تا ۷/۰۸ درصد در لبه) در این آمفیبول‌ها، بیانگر کاهش دما طی رشد این بلورها از مرکز به لبه است [۸].

آمفیبول‌های سدیمی- کلسیمی

با در نظر گرفتن شرایط $0.75> ^{B}(Ca+\sum M^{2+})/\sum B\geq 0.25, ^{B}Ca/\sum B\geq ^{B}\sum M^{2+}/\sum B$ تعدادی از آمفیبول‌های مورد بررسی در زیر گروه سدیمی - کلسیمی قرار می‌گیرند [۷]. براساس $^{c}(Al+Fe^{3+}+Ti)$ نسبت به $^{A}(Na+K+2Ca)$، ترکیب آمفیبول‌های سدیمی - کلسیمی منطقه مورد بررسی در گستره وینچیت قرار دارد (شکل ۴پ). جایگاه‌های T و C با کاتیون‌های سیلیسیم و منیزیم پر شده‌اند. در این بلورها، جایگاه A اغلب خالی بوده و مجموع سدیم و پتاسیم کمتر یا برابر با ۰/۵ است. مقدار کاتیون‌های غالب موجود در جایگاه B، در همه بلورها یکسان نیست.

دما-فشارسنجی

فشارسنجی با استفاده از کانی آمفیبول

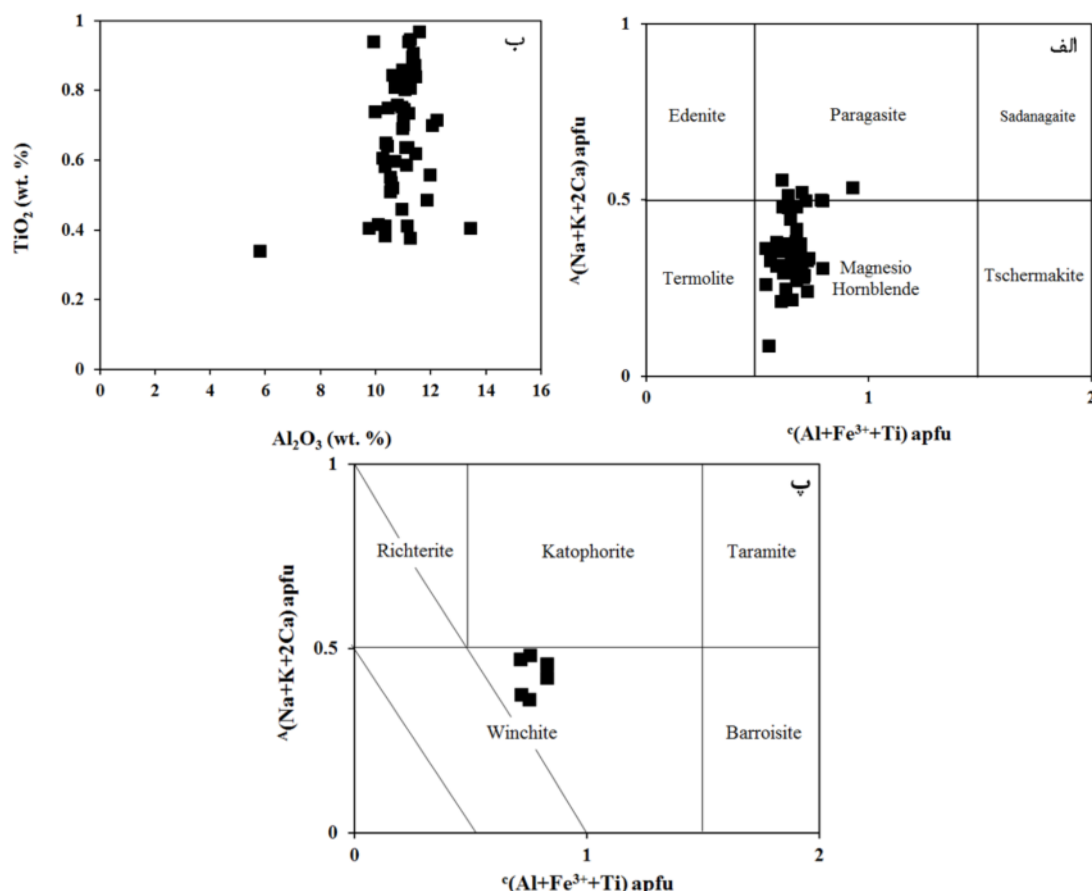
ترکیب شیمیایی کانی آمفیبول به‌صورت گسترده برای تعیین فشار سنگ‌های آذرین و دگرگونی به‌کار می‌رود. برای مثال، توزیع عنصر Al [۹-۱۱] و Na^{B} ([۱۲،۱۳]) در کانی آمفیبول تابع فشار است و در نتیجه براساس آنها می‌توان به فشار دگرگونی پی برد.

مرز بین آمفیبول‌های کلسیمی فشار پایین و فشار بالا به‌صورت Al^{IV}/Al^{VI}=۲ تعریف شده [۱۴] که معادل با فشار ۵ کیلوبار است [۱۵]. نمونه‌های مورد بررسی براساس نمودار Al^{IV} نسبت به Al^{VI}، در گستره فشار متوسط قرار دارند (شکل

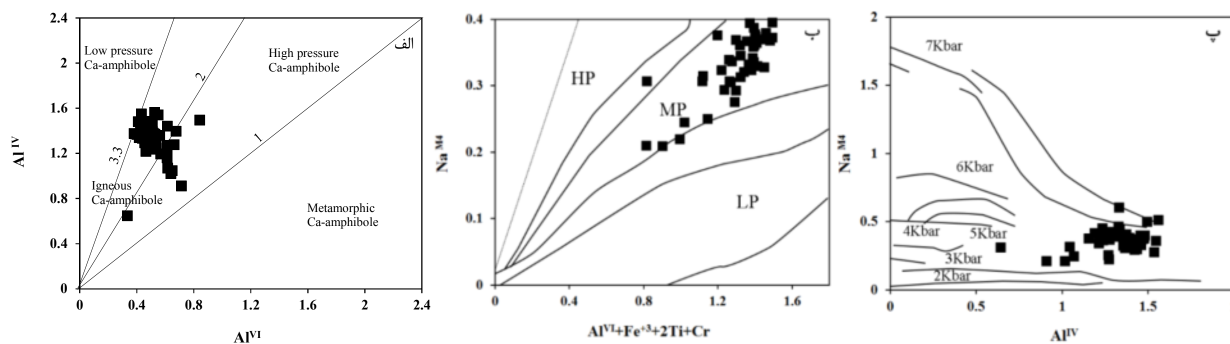
[DOR: 20.1001.1.17263689.1402.31.3.4.9]
[DOI: 10.61186/ijcm.31.3.467]

۵ الف). نمودار Na^B (Na_{M4}) نسبت به $Al^{VI}+Fe^{+3}+2Ti+Cr$ نیز نشان‌دهنده فشار متوسط تا پایین برای آمفیبول‌های موجود در آمفیبولیت‌های منطقه است (شکل ۵ ب).

بر پایه مقادیر Na_{M4} و Al^{VI} [۱۳] در آمفیبول‌های مورد بررسی، فشار ۳ تا ۶ کیلوبار برای آمفیبولیت‌ها برآورد می‌شود که نشان‌دهنده فشار متوسط برای این سنگ‌هاست (شکل ۵ پ).



شکل ۴ الف) نام‌گذاری آمفیبول‌های کلسیمی براساس مرجع [۷]. ب) نمودار Al_2O_3 نسبت به TiO_2 برای نشان دادن تغییرات ترکیبی بلور طی رشد. پ) نام‌گذاری آمفیبول‌های سدیمی- کلسیمی براساس مرجع [۷].



شکل ۵ الف) جایابی نمونه‌های مورد بررسی در نمودار Al^{IV} نسبت به Al^{VI} [۱۴]. ب) نمودار Na_{M4} نسبت به $Al^{VI}+Fe^{+3}+2Ti+Cr$ آمفیبول‌های مورد بررسی که فشار متوسط تا پایین را برای آنها نشان می‌دهد. پ) تعیین فشار دگرگونی آمفیبولیت‌های معدن گل‌گهر بر اساس نمودار مرجع [۱۳].

ترکیب آمفیبول به فشار، دما، گریزندگی اکسیژن، ترکیب کل و فازهای همزیست بستگی دارد [۱۶]، به‌طوری که با افزایش دما و فشار آمفیبول، مقدار عناصر Ti، Na، Al، K و Mg# افزایش یافته و Si کاهش می‌یابد [۱۷].

از متداول‌ترین روش‌های برآورد فشار در آمفیبول استفاده از فشارسنج Al است. استفاده از این فشارسنج نیازمند همزیستی کانی‌های آمفیبول، بیوتیت، پلاژیوکلاز و فلدسپار قلیایی است. از آنجا که آمفیبول‌های مورد بررسی با این کانی‌ها همزیست هستند، می‌توان از این فشارسنج برای پی بردن به فشار آمفیبولیت‌های منطقه معدنی گل‌گهر استفاده کرد.

همخوانی مناسبی بین Al^{t} کل و Al^{IV} در آمفیبول‌های مورد بررسی وجود دارد (شکل ۶ الف) که براساس نمودار مرجع [۱۸] گستره فشار از ۳ تا ۷ بار است (شکل ۶ ب).

برای برآورد فشار تبلور آمفیبول از روش‌های مرسوم زمین‌شناسی بر اساس مقدار Al موجود در هورنبلند استفاده شد و نتایج در جدول ۳ آورده شده است.

دماسنجی براساس کانی آمفیبول

با توجه به مقادیر Al^{t} نسبت به مقادیر فشار [۱۹]، گستره دمایی ۶۰۰ تا ۷۵۰ درجه سانتی‌گراد برای کانی‌های آمفیبول مورد بررسی برآورد شد (شکل ۷).

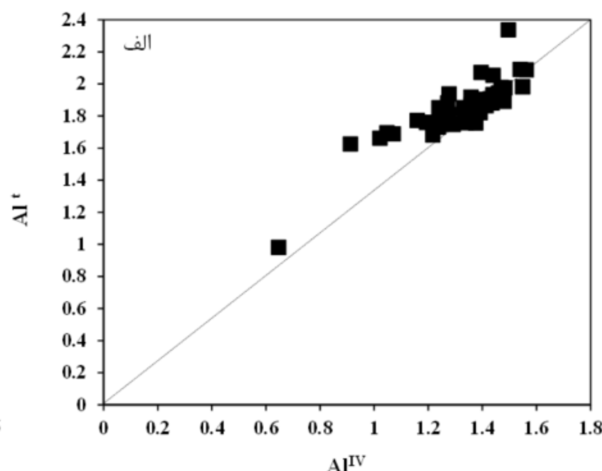
دما-فشارسنجی براساس زوج کانی هورنبلند- پلاژیوکلاز

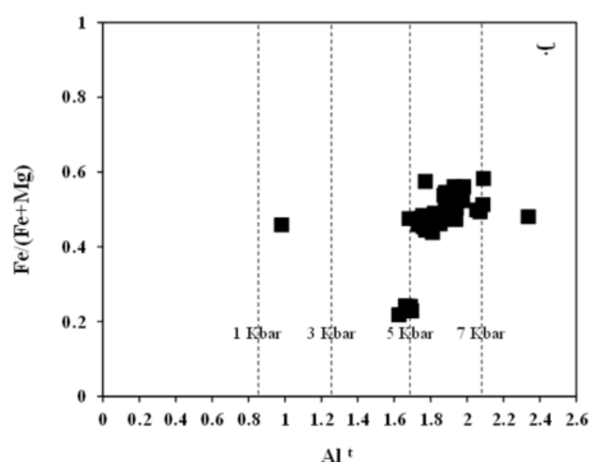
روابط دماسنجی مرجع [۲۰] از مناسب‌ترین روش‌ها برای برآورد دمای تبلور کانی‌های پلاژیوکلاز و آمفیبول است. این روش که بر پایه واکنش ادنیت- ریشتریت است، در سنگ‌های آذرین و دگرگونی کوارتزدار و بدون کوارتز کاربرد دارد. در این روش، دما از رابطه زیر را محاسبه می‌شود:

$$T[K]=\{78.44+Y_{ab\text{-}an}-33.6XNaM4-(66.8-2.92P[kbar])XAlM2+78.5\ XAlT1+\ Ln\ 0.0721\text{-}R\{9.4XNaA\}/[(27XNaM4XSiT1XAnplg)/(64XCaM4XAlT1XA\}bplg)]$$

بر این اساس، گستره دمایی ۵۴۰ تا ۶۳۰ درجه سانتی‌گراد برای نمونه‌های مورد بررسی بدست آمد.

نمودار مرجع [۲۱] که با استفاده از کانی‌های هورنبلند و پلاژیوکلاز بدست آمده است، دمای بیش از ۴۵۰ درجه سانتی‌گراد و فشار بین ۴ تا ۷ کیلوبار را برای آمفیبول‌ها نشان می‌دهد که با دما و فشار قابل انتظار برای رخساره آمفیبولیت همخوانی دارد (شکل ۸).



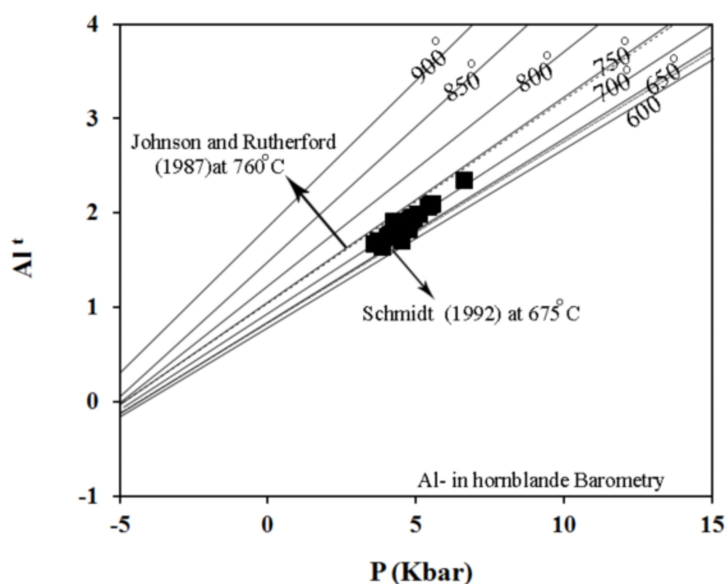


شکل 6 الف) همخوانی خطی Al^{t} کل و Al^{IV} در آمفیبول‌های مورد بررسی. ب) تعیین گستره فشار تشکیل آمفیبولیت‌ها بر اساس نمودارمرجع [۱۸].

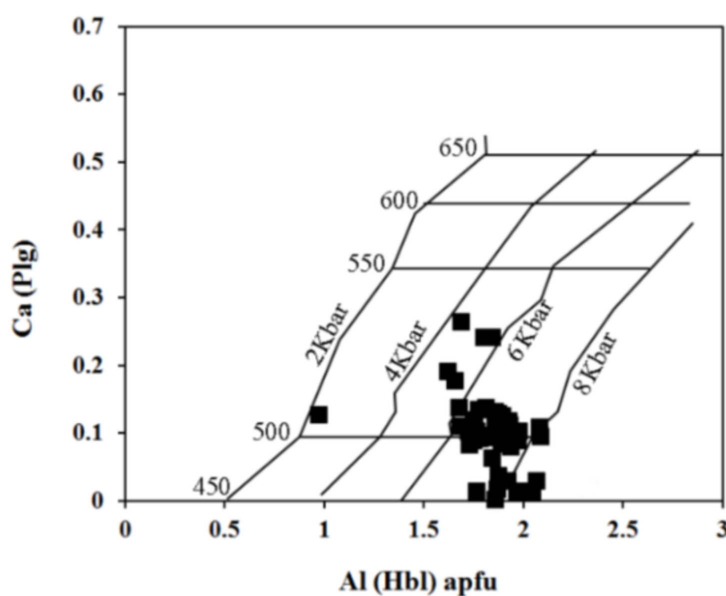
جدول ۳ محاسبه فشار تشکیل بلورهای آمفیبول در توده‌های آمفیبولیتی معدن گل‌گهر.

فشار (کیلوبار)			
براساس روش مقدار آلومینیوم در هورنبلند	کمینه (kb)	بیشینه(kb)	میانگین(kb)
[۱۸]	۴/۷۳	۸/۱۱	۵/۸۸
[۱۹]	۳/۶۲	۶/۶۷	۴/۶۵
[۱۶]	۴/۲۶	۷/۸۴	۵/۴۷
[۹]	۴/۴۱	۸/۴۲	۵/۵۹
[۱۰]	۳/۴۲	۶/۴۳	۴/۴۴

[DOR: 20.1001.1.17263689.1402.31.3.4.9]
[DOI: 10.61186/ijcm.31.3.467]



شکل ۷ گستره دمایی تبلور آمفیبول‌های مورد بررسی بر اساس نمودار مقادیر Alt نسبت به مقادیر فشار[۱۹].



شکل ۸ دما- فشار سنجی هورنبلند- پلاژیوکلاز برای تعیین گستره دما- فشار آمفیبولیت‌ها [۲۱].

برداشت

آمفیبولیت‌های منطقه معدنی گل‌گهر از نوع ارتوآمفیبولیت هستند و از نظر کانی‌شناسی در دو گروه آمفیبولیت و بیوتیت آمفیبولیت جای می‌گیرند. روابط واکنشی چون کلریتی‌شدن و اپیدوتی‌شدن کانی‌های بیوتیت و آمفیبول در آمفیبولیت‌ها گویای رخداد دگرگونی پسرونده در حد رخساره اپیدوت- آمفیبولیت در منطقه مورد بررسی هستند. براساس نتایج بررسی شیمی کانی‌ها، آمفیبول‌های موجود در آمفیبولیت‌های منطقه شامل دو گروه کلسیمی، از نوع مگنزیوهورنبلند و پاراگاسیت و سدیمی-کلسیمی، از نوع وینچیت هستند. تغییر و افزایش پیشرونده مقدار سیلسیم از مرکز تا لبه در آمفیبول‌های کلسیمی، بیانگر کاهش دما طی رشد این بلورها از مرکز به لبه است. با بررسی‌های دما-فشار سنجی، دمای حدود ۶۰۰ تا ۷۵۰ درجه سانتی‌گراد و فشار ۳ تا ۷ کیلوبار برای آمفیبولیت‌های

منطقه بدست آمد که بر این اساس، نوع دگرگونی این سنگ‌ها از نوع فشار متوسط بوده و سنگ مادر آمفیبولیت‌ها تا رخساره آمفیبولیت دگرگون شده است.

قدردانی

از مدیریت محترم و پژوهشگران پژوهشکده سنگ آهن و فولاد گل‌گهر، به ویژه آقای مهندس امیری، که نهایت همکاری در ارتباط با حضور در منطقه و نمونه‌برداری را با ما داشتند و همچنین آقای دکتر بهرام بهرام‌بیگی صمیمانه تشکر می‌نمائیم.

مراجع

[1] Darvishzadeh A., "Geology of Iran", Tehran Amirkabir publication (in persian) (2003).

[2] Darvishzadeh A., *"Metamorphic petrology",* Tehran Payam-e-noor publication (in persian) (2010).

[3] Sabzehei M. and Watters M., *"Preliminary report on the geology and petrography of the metamorphic and igneous rocks of central part of Neiriz.",* Geological Survey of Iran (1970).

[4] Sabzehei M., *"GolGohar geological map 1:100000"*, Geological survey of Iran, Tehran (1997).

[5] Ghafouri L., Moeinzadeh H., *"Investigation of mineral chemistry and causes of tourmaline formation in biotite amphibolits of Gol-e-Gohar mining and industrial area (Sirjan), Kerman province"* Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy. 29 (2021) 455-462.

[6] Ghafouri L., *"Petrography, mineral chemistry and petrogenesis of Amphibolites in Gol Gohar mining and industrial area (Sirjan), Kerman province"* Kerman Shahid Bahonar university. Master thesis. (Persian) (2018).

[7] Hawthorne F.C., Oberti . R , E., Har low G.V., Maresch W. F., Mar tin R. C., Schumacher J .D., Welch M., *"Nomenclature of the amphibole supergroup"*, American Mineralogist 97 (2012) 2031–2048.

[8] Ernst W.G., Liu J., *"Experimental phase equilibrium study of Al-and Ti-contents of calcic amphibole in MORB-A semiquantitative thermobarometer"*, American Mineralogist 83 (1998) 952-969.

[9] Hollister L.S., Grissom G.E., Peters E.K., Stowell H.H., Sisson V. R., *"Confirmation of the empirical correlation of AI in hornblende with pressure of solidification of calc-alkaline plutons",* American Mineralogist 72 (1987) 231-239.

[10] Johnson M.C., Rutherford M.J., *"Experimentally calibration of the aluminum–in–hornblende geobarometer with application to Long Valley caldera (California) volcanic rocks"*, Geology 17 (1989) 837-841.

[11] Poli S, Schmidt M.W., *"A comment on "Calcic amphibole equilibria and a new amphibole-plagioclase geothermometer"*, Contributions to Mineralogy and Petrology 111 (1992) 273-278.

[12] Laird J., Lanphere A. and Albee A.L., *"Distribution of Ordovician and Devonian metamorphism in ma fic and pelitic schists from Vermont".* American Journal of Science, 284 (1984) 376-416.

[13] Brown E.H., *"The crosstie content of Ca-amphibole as a guide to pressure of metamorphism".* Journal of Petrology, 18 (1977) 376-416.

[14] Fleet M.E., Barnett R.L., *"A1IV/A1VI partitioning in calciferous amphiboles from the Frood mine, Sudbury, Ontario"*, Canadian Mineralogist 16 (1978) 527-532.

[15] Rasse P., *"Al and Ti contents of hornblende, indicators of pressure and temperature of regional metamorphism"*, Contributions to Mineralogy and Petrology 45 (1974) 231-236.

[16] Hammarstrom J.M., Zen E., *"Aluminum in hornblende: An empirical igneous geobarometer"*, American Mineralogist 71 (1986) 1297-1331.

[17] Féménias O., Mercier G.C., Nkono C., Diot H., Berza T., Tatu M., Demaiffe D., *"Calcic amphibole growth and compositions in calcalkaline magmas: Evidence from the Motru Dike Swarm (Southern Carpathians, Romania)"*, American Mineralogist 91 (2006) 73-81.

[18] Schmidt M.W., *"Amphibole composition in tonalite as a function of pressure: an experimental calibration of the Al in hornblende barometer"*, Contributions to Mineralogy and Petrology 110 (1992) 304-310.

[19] Anderson J. L., Smith D. R., *"The effects of temperature and fO2 on the Al-in-hornblende barometer"*, American Mineralogist 80 (1995) 549-59.

[20] Holland T.J.B., Blundy J.D., (1994). *"Non-ideal interactions in calcic amphiboles and their bearing on amphibole plagioclase thermometry"*, Contributions to Mineralogy and Petrology 116 (1994) 433-447.

[21] Plyusnina L.P., *"Geothermometry and geobarometry of plagioclase-hornblende bearing assemblages"*, Contributions to Mineralogy and Petrology 80 (1982) 140-146.